



DEUTSCHES  
PATENTAMT

②1 Aktenzeichen: P 37 13 029.3  
②2 Anmeldetag: 16. 4. 87  
④3 Offenlegungstag: 3. 11. 88

Behördenabstimmung

DE 37 13029 A 1

⑦1 Anmelder:

Deutsche Bundespost, vertreten durch den  
Präsidenten des Fernmeldetechnischen  
Zentralamtes, 6100 Darmstadt, DE

⑦2 Erfinder:

Heitmann, Walter, Dr.-Ing., 6101 Groß-Biebrau, DE

⑤4 Verfahren zur Herstellung von Glasfasern mit sehr geringer optischer Dämpfung

Bei einem Verfahren zur Herstellung von Glasfasern mit sehr geringer optischer Dämpfung wird das Ende einer gläsernen, zylindrischen Vorform 1 bis zur Zähflüssigkeit erhitzt und das zähflüssige Ende danach über das Stadium einer Ziehzwiebel 3 zu einer dünnen Glasfaser 4 ausgezogen. Zum Ausgleich der Inhomogenitäten im Glas wird die Glasfaser 4 kurz nach dem Austritt aus der Ziehzwiebel 3 durch eine Temperzone konstanter Temperatur in Form eines Rohrrofens 8 geleitet. Die Temperatur in der Temperzone liegt einige 100° C niedriger als in der Ziehzwiebel 3. Sie kann auch so gewählt sein, daß sich der Durchmesser der Glasfaser 4 beim Durchlaufen der Temperzone etwas verringert und damit eine präzise Einstellung des Durchmessers vorgenommen wird. Das Innere des Rohrrofens 8 kann beim Ziehprozeß mit Helium gespült werden (Fig. 2).

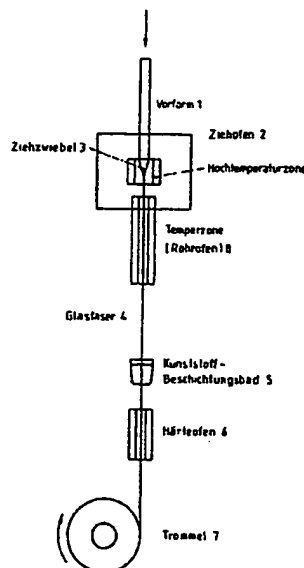


Fig 2

DE 37 13029 A 1

BEST AVAILABLE COPY

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Glasfasern mit sehr geringer optischer Dämpfung, bei dem das Ende einer zylindrischen gläsernen Vorform zunächst bis zur Zähflüssigkeit erhitzt und das zähflüssige Ende danach über das Stadium einer Ziehwiebel zu einer dünnen Glasfaser ausgezogen wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Glasfaser (4) kurz nach dem Austritt aus der Ziehwiebel (3) durch eine Temperzone konstanter, derart bemessener Temperatur geleitet wird, daß sich Inhomogenitäten im Glas ausgleichen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Temperzone ein Rohrofen (8) mit 1–3 cm Innendurchmesser und 0,5–2 m Länge verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur der Temperzone einige 100°C unter der Temperatur der Ziehwiebel (3) liegt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperatur in der Temperzone so gewählt wird, daß sich der Durchmesser der Glasfaser (4) beim Durchlaufen der Temperzone etwas verringert und damit eine präzise Einstellung des Durchmessers vorgenommen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß beim Ziehprozeß das Innere des Rohrofens (8) mit Helium gespült wird.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Glasfasern mit sehr geringer optischer Dämpfung. Lichtwellenleiter aus Glas (Glasfasern) haben sich wegen ihrer geringen Dämpfung und Dispersion zum wichtigsten Übertragungsmedium der optischen Nachrichtentechnik entwickelt. Mit Fasern auf Quarzglasbasis werden Dämpfungskoeffizienten von unter 0,2 dB/km erreicht. Bandbreiten im Gbit/s-Bereich sind bei Verstärkerabständen von mehr als 100 km realisierbar.

In Fig. 1 ist zunächst das übliche Herstellungsverfahren für Glasfasern nach dem Stand der Technik dargestellt. Hierbei wird von einer Vorform 1, einem 1–2 m langen und 10–30 mm starken zylindrischen Glasstab, ausgegangen. Die Vorform 1 wird in einen Ziehofen 2 eingefahren und ihr Ende in dessen Hochtemperaturzone so erhitzt, daß es zähflüssig wird und sich nach Durchlaufen des Übergangsstadiums einer Ziehwiebel 3 zu einer dünnen Glasfaser 4 von etwa 0,1 mm Durchmesser ausziehen läßt. Diese Glasfaser 4 durchläuft ein Kunststoff-Beschichtungsbad 5 und einen Härteofen 6 zum Aushärten der Kunststoffschicht und wird anschließend auf eine Trommel 7 gewickelt.

In hochwertigen Fasern auf Quarzglasbasis wird die Dämpfung im Bereich des Minimums (1,55 µm) praktisch ausschließlich durch Rayleigh-Streuung verursacht. Diese Streuung ist auf eingefrorene Inhomogenitäten im Glas zurückzuführen und ist proportional zur absoluten Temperatur, bei der die Faser gezogen wird (Yoshida, K. et al.: Loss factors in optical fibers. Opt. and Quant. Electronics 13 (1981), S. 85).

Eigene Berechnungen haben ergeben, daß die untere Dämpfungsgrenze von reinem Quarzglas bei 0,10 dB/km liegt (Heitmann, W.: Temperature dependence of the spectral attenuation of a silica-based fibre. J. Opt. Communications (1987)).

Dieser Wert müßte mit Einmodenfasern annähernd erreicht werden, weil der Anteil von Dotierstoffen bei diesem Fasertyp sehr gering ist. Besonders in Einmodenfasern mit reinem Quarzglas, in denen das Licht überwiegend in reinem Quarzglas geführt wird, sollte es möglich sein, sich der unteren Dämpfungsgrenze dicht zu nähern.

Die bisher erreichten minimalen Dämpfungskoeffizienten in Quarzglasfasern liegen allerdings noch deutlich über der theoretischen Untergrenze. Für GeO<sub>2</sub>-dotierte Einmodenfasern wurde kürzlich eine Verteilungskurve des Dämpfungskoeffizienten bei 1,55 µm für 30 000 Faserkilometer veröffentlicht. Danach wurden Werte zwischen 0,17–0,30 dB/km mit einem Mittelwert von 0,21 dB/km gemessen. (Jablonowski, D. P.: Fiber Manufacture at AT u. T with the MCD Process. Journal of Lightwave Technology, Vol. LT-4, 8 (1986), S. 1016).

Bei Messungen an Einmodenfasern mit reinem Quarzglas und Fluor-dotiertem Mantel wurden ähnliche Werte erreicht. Für diesen Fasertyp wurde als bisher niedrigster Wert ein Dämpfungskoeffizient von 0,15 dB/km für eine 10 km lange Faser gemessen (Kanamori, H. et al.: Transmission Characteristics and Reliability of Pure-Silica Core Single-Mode Fibers. Journ. of Lightwave Technology, Vol. LT-4, 8 (1986), S. 1144).

Nach eigenen Berechnungen ist darin noch ein wellenunabhängiger Anteil von 0,02 dB/km enthalten, so daß sich als reiner Materialverlust durch Rayleigh-Streuung ein Wert von 0,13 dB/km ergibt.

Der derzeitige Stand der Technik ist demnach durch folgende Fakten gekennzeichnet:

1. Die praktisch erreichten minimalen Dämpfungskoeffizienten liegen noch deutlich über der theoretischen Untergrenze.
2. Die Verteilungskurve der minimalen Dämpfungswerte ist relativ breit. Die Unterschiede des Dämpfungskoeffizienten können bis zu 100% betragen, obwohl die Fasern nach demselben Verfahren hergestellt wurden.

Daraus kann geschlossen werden, daß der Herstellungsprozeß nicht optimal ist und Parameter des Verfahrens nicht ausreichend kontrolliert werden. Eine Analyse des üblichen Faser-Ziehverfahrens ergibt folgendes:

Die Temperatur in der zähflüssigen Spitze der Vorform, der sogenannten Ziehwiebel, liegt für reines und leicht dotiertes Quarzglas zwischen 2000–2200°C. Als typische Ziehgeschwindigkeit werden Werte um 5 m/s angegeben. Eine Faser mit einem Durchmesser von 125 µm kühlt beim Ziehen in einer Sekunde von 2000°C auf 20°C ab. Die Faser ist demnach kurz hinter der Ziehwiebel 3 – etwa beim Austritt aus dem Ofengehäuse 2 – schon soweit abgekühlt, daß Tempervorgänge zum Ausgleich von Inhomogenitäten im Glas nicht mehr stattfinden können. Die für den Rayleigh-Streukoeffizienten maßgebende Temperatur wird deshalb dicht unterhalb der Temperatur in der Ziehwiebel 3 liegen. Ungleichmäßige Temperaturverteilungen in dem Ofenbereich, der an die Hochtemperaturzone anschließt, führen zu zusätzlichen Inhomogenitäten im Glas und damit zu erhöhten Streuverlusten. (Irven, J. et al.: Anlagen zur Herstellung von optischen Fasern. Elektrisches Nachrichtenwesen, 59, 4 (1985), S. 42).

Aufgabe der Erfindung ist es, das Faser-Ziehverfahren so zu verbessern, daß Fasern mit möglichst niedri-

gen und konstanten Dämpfungskoeffizienten dicht an der theoretischen Untergrenze hergestellt werden können.

Die Erfindung geht zur Lösung dieser Aufgabe demzufolge von dem bekannten Herstellungsverfahren für Glasfasern aus, bei dem das Ende einer zylindrischen gläsernen Vorform zunächst bis zur Zähflüssigkeit erhitzt und das zähflüssige Ende danach über das Stadium einer Ziehzwiebel zu einer dünnen Glasfaser ausgezogen wird. Die Inhomogenitäten der Glasfaser werden nun gemäß der Erfindung dadurch beseitigt, daß die Glasfaser kurz nach dem Austritt aus der Ziehzwiebel durch eine Temperzone konstanter, derart bemessener Temperatur geleitet wird, daß sich Inhomogenitäten im Glas ausgleichen.

In folgendem wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand von 2 Figuren erläutert. Es zeigt

Fig. 1 das bereits erläuterte Herstellungsverfahren nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 das Verfahren nach der Erfindung.

Das Verfahren nach Fig. 2 unterscheidet sich lediglich durch die Einführung der Temperzone von dem Verfahren nach Fig. 1.

Diese Temperzone läßt sich vorteilhaft durch einen Rohrofen 8 von ca. 0,5–2 m Länge und einem Innendurchmesser von etwa 1–3 cm realisieren, der dicht hinter der Ziehzwiebel 3 beginnt.

Die Temperatur im Rohrofen 8 wird so gewählt, daß einerseits ein möglichst vollständiger Ausgleich der Inhomogenitäten im Glasfasermaterial erreicht wird, andererseits eine ausreichend hohe Zähigkeit des Glases vorhanden ist und somit ein Zerreißen der Glasfaser vermieden wird. Zweckmäßig liegt die Temperatur der Temperzone einige 100°C unter der Temperatur der Ziehzwiebel.

Wichtige Parameter für die Temperatur der Temperzone sind die Ziehgeschwindigkeit und die Länge der Zone. Beim Ziehen verringert sich die Querschnittsfläche von der Vorform bis zur Faser etwa um den Faktor  $10^4$ . Damit der Ziehvorgang im wesentlichen in der Ziehzwiebel 3 stattfindet, muß die Temperatur in der Temperzone 8 so gewählt werden, daß die Zähigkeit des Fasermaterials mindestens um den Faktor  $10^4$  höher ist. Andererseits wäre eine relativ hohe Temperatur beim Tempern vorteilhaft, damit der gewünschte Effekt auch bei hohen Ziehgeschwindigkeiten und kurzer Temperzone erreicht wird. Aus diesen Vorgaben läßt sich abschätzen, daß der günstigste Temperaturbereich für Fasern auf Quarzglasbasis zwischen 1600°C und 1200°C liegt. Die Zähigkeit von Quarzglas ist bei 1400°C um mehr als den Faktor  $10^4$  höher als bei 2000°C, (Brückner, R.: Properties and Structure of Vitreous Silica II. Journ. of Non-Crystalline Solids, 5 (1971), S. 197).

Bei Fasern aus Mehrkomponentengläsern, für die die Temperatur in der Ziehzwiebel 3 oder im Schmelztiegel (Doppeltiegelverfahren) etwa bei 1000°C liegt, ist eine entsprechend geringere Temperatur in der Temperzone erforderlich. Eine kleine Verringerung des Faserdurchmessers beim Tempern ist unproblematisch, könnte sogar vorteilhaft zu einer genaueren Einstellung des Faserdurchmessers genutzt werden.

Der Innenraum des Rohrofens 8 sollte zweckmäßig während des Ziehprozesses mit Helium (laminare Strömung) gespült werden. Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit dieses Gases wird die Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung im Ofen verbessert. Außerdem diffundiert Helium bei hohen Temperaturen sehr schnell in Quarzglas ein. Beim 1400°C ist nach eigenen Berech-

nungen bei einer 125 µm dicken Faser das Diffusionsgleichgewicht in weniger als 0,1 s erreicht. Da von der Vorformherstellung bekannt ist, daß Helium die Homogenisierung von Glasstrukturen günstig beeinflusst, kann auch beim Tempern eine Verbesserung des Ausgleichs von Inhomogenitäten erwartet werden.

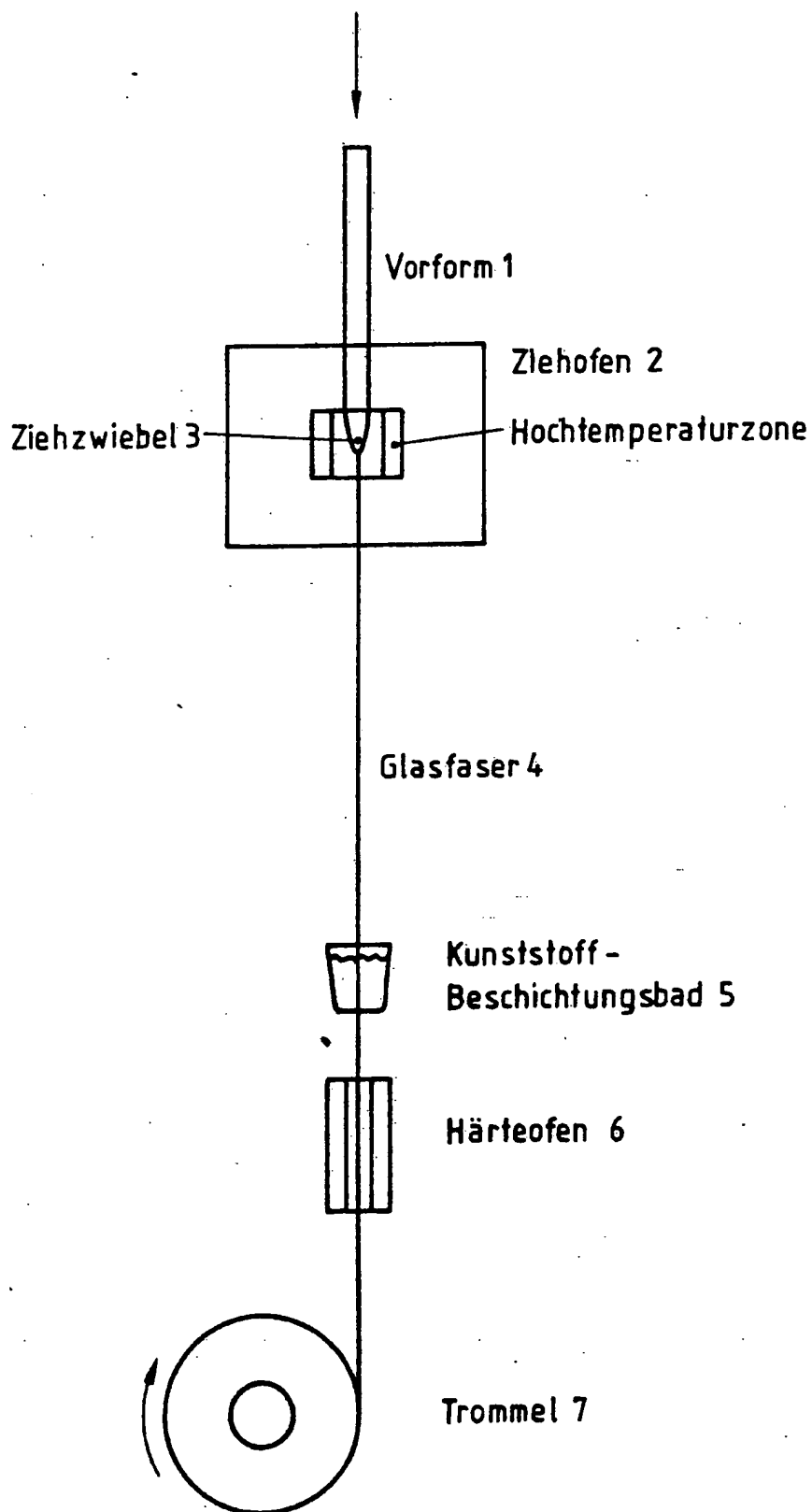
Wenn man davon ausgeht, daß die für die Streuverluste relevante absolute Temperatur beim bisher üblichen Ziehverfahren 2173°K beträgt, beim Tempern mit 1400°C dagegen nur 1673°K, ergibt sich daraus eine Verringerung der Rayleigh-Streuung um etwa 23%. Damit ließe sich der niedrigste bisher bekannte Dämpfungskoeffizient in Fasern mit reinem Quarzglaskern von 0,13 dB/km auf 0,10 dB/km, also auf den theoretischen Minimalwert, verringern. Noch wichtiger ist die Möglichkeit, die Breite der Verteilkurve des Dämpfungskoeffizienten zu reduzieren und den Mittelwert von derzeit 0,21 dB/km auf etwa die Hälfte zu verringern.

3713029

150 37

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

37 13 029  
C 03 B 37/012  
16. April 1987  
3. November 1988



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 1 808 844/200

3713029

